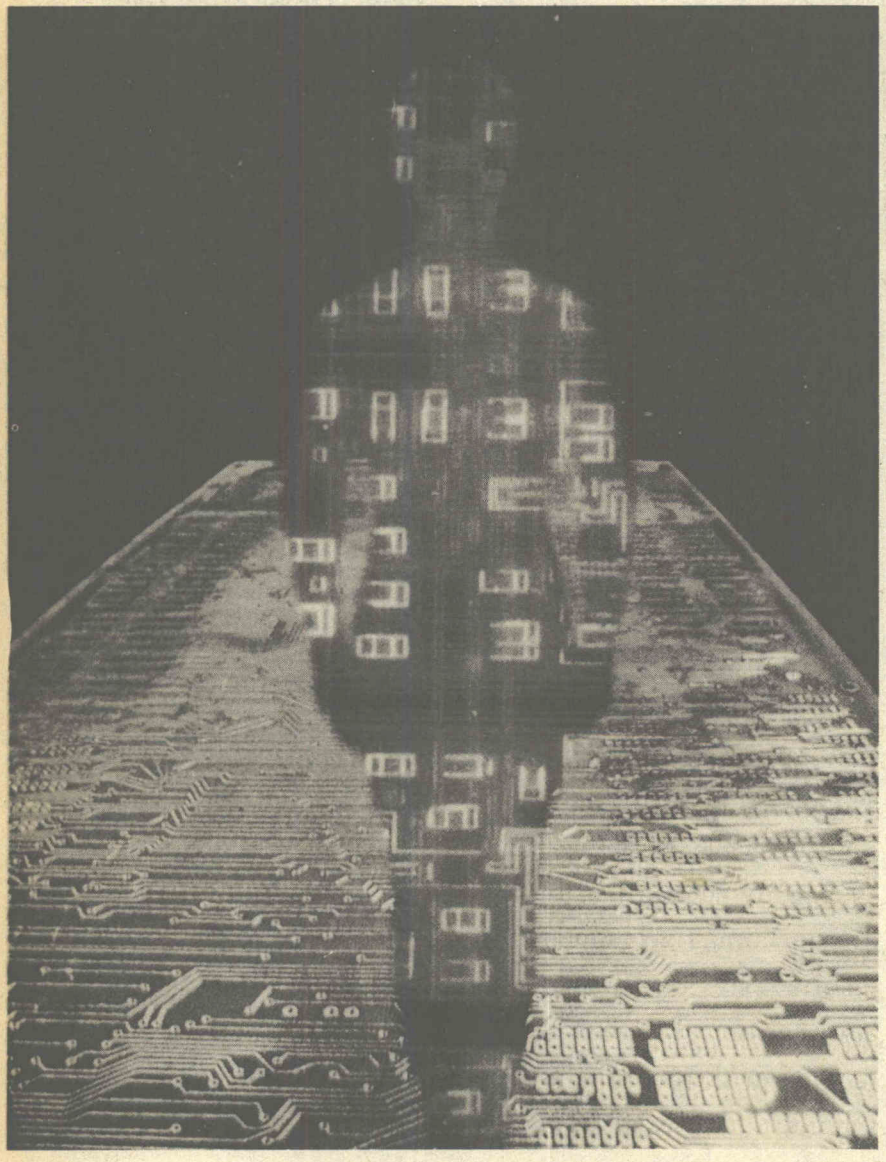
เรื่องน่าอ่าน

พงศ์พิชญ์ พะหูชนม์

กว่าจะปั้นทราย ให้เป็นชิพ



ศึกษาขั้นตอนการผลิตชิพที่ประกอบด้วยแผ่นวงจรเล็กมากมายบรรจุอยู่ในพื้นที่ขนาดปลายนิ้วก้อย

คอมพิวเตอร์รุ่นแรก ๆ นั้นภายในจะประกอบไปด้วยหลอดสุญญากาศนับพัน ๆ หลอด ต่อมาก็พัฒนามาเป็นทรานซิสเตอร์ และไอซี จนถึงปัจจุบันนี้เทคโนโลยี VLSI (Very Large Scale Integrated Circuit) ได้ก้าวหน้าไปมาก เราสามารถบรรจุเอาเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเท่าห้องในสมัยก่อนไว้ในชิพขนาด 1×1 นิ้วได้อย่างสบาย

หลายคนคงสงสัยว่าไอ้เจ้าชิพที่เห็นอยู่ในคอมพิวเตอร์นั้นทำมาจากอะไร เชื่อหรือไม่ครับว่ามันทำมาจากทราย! อ้อ ไม่ใช้พลาสติกสีดำ ๆ ที่ห่อหุ้มอยู่นะครับ จริง ๆ แล้วตัวชิพจะเป็นแผ่นวงจรแผ่นเล็ก ๆ อยู่ภายในอีกทีหนึ่ง ถ้าอยากเห็นหน้าตาของเจ้าชิพละก้อลองหา EPROM มาสักตัว แผ่นที่อยู่ในกระจกตรงกลางนั่นและครับคือชิพ

ชิพจะทำมาจากซิลิคอน ซึ่งมีอยู่มากมายตามธรรมชาติ สารประกอบของซิลิคอนที่เรารู้จักกันดีก็คือ ทราย และแก้ว

ในการสร้างชิพสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

1. สร้างซับเสตรท
2. สร้างชั้น Epitaxy
3. สร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์
4. สร้างลายวงจร
5. เปลี่ยนคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยการเจือสาร
6. สร้างชั้นโลหะเพื่อเป็นตัวเชื่อมต่อของอุปกรณ์แต่ละตัว

ถ้ามีหลายชั้นก็จะทำขั้นตอนที่ 2-6 ซ้ำไปเรื่อย ๆ ในแต่ละชั้น ซึ่งในชิพบางตัวอาจมีถึง 20 ชั้น และอาจใช้เวลาในการผลิตนานถึง 1 เดือน

การสร้างซับเสตรท

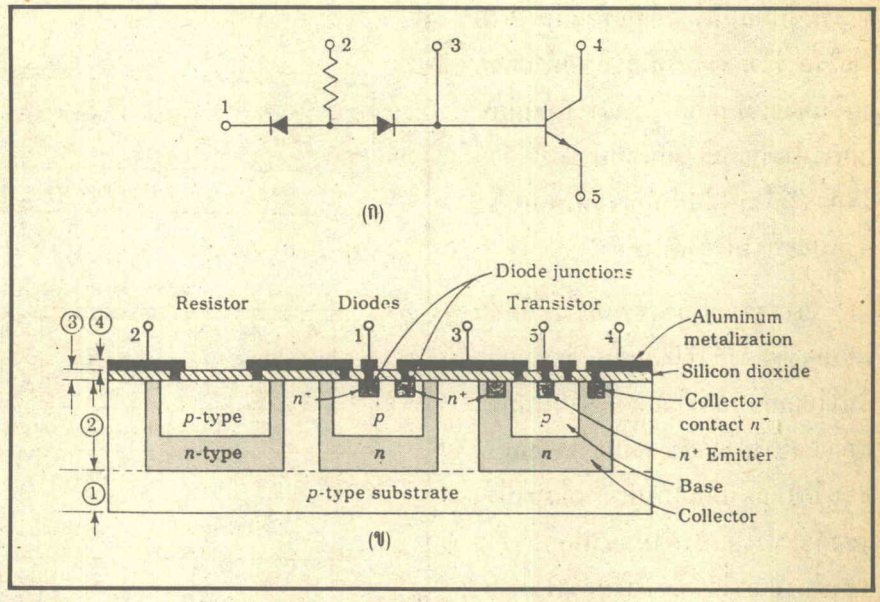
ซับเสตรทจะทำจากซิลิคอนบริสุทธิ์ โดยจะเริ่มจากการนำซิลิคอนมาหลอม

แล้วก็จะนำเอาผลึกซิลิคอนมาล่อ ให้ซิลิคอนเหลวจับเรียงตัวกันเป็นผลึกขณะเดียวกันก็จะค่อย ๆ ดึงผลึกที่ใช้ล่อออกมาเรื่อย ๆ ซิลิคอนก็จะจับตัวเป็นแท่งของผลึก เมื่อได้แท่งผลึกซิลิคอนแล้วก็จะนำมาตัดเป็นแผ่นบาง ๆ แล้วนำไปขัดให้เรียบ เราก็จะได้แผ่นเวเฟอร์ที่พร้อมจะผ่านไปสู่ขั้นตอนที่สอง ซึ่งเจ้าแผ่นเวเฟอร์นี้จะเป็นแท่นปฏิบัติการสำหรับการสร้างชิพนั่นเอง

การสร้างชั้น Epitaxy

ชั้นนี้จะเป็นชั้นที่บรรจุอุปกรณ์เอาไว้ การสร้างชั้น Epitaxy นี้เราจะใช้สารประกอบซิลิคอนที่อยู่ในสถานะก๊าซมาทำให้เกิดปฏิกริยาเคมี กลายเป็นฟิล์มซิลิคอนบนแผ่นเวเฟอร์ และทำการเจือสารบางตัวเข้าไปเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติ โดยชั้น Epitaxy นี้อาจเป็นได้ทั้งชนิด p และชนิด n เช่นถ้าเราต้องการให้เป็นสารชนิด n ก็ทำการเจือฟอสฟอรัสเข้าไป และถ้าต้องการให้เป็นสารชนิด p ก็ทำการเจือโบรอนเข้าไป

สารชนิด n จะเป็นสารที่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน คือมีอิเล็กตรอนในโมเลกุลเกินอยู่ 1 ตัว ส่วนสารชนิด p จะเป็นสารที่พร้อมจะรับอิเล็กตรอน คือขาดอิเล็กตรอนในโมเลกุลอยู่ 1 ตัว เมื่อนำสารชนิด n และ p มาต่อกัน และถ้าเราให้แรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม ก็จะเกิดการไหลของอิเล็คตรอนจากสาร n ไปยังสาร p เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในทิศตรงข้าม หลักการนี้เป็นหลักการเบื้องต้นของไดโอดและทรานซิสเตอร์นั่นเอง ในชิพตัวหนึ่ง ๆ นั้นถ้าเป็นชิพธรรมดาอาจจะมีทรานซิสเตอร์อยู่ในหลักพันตัว แต่ถ้าเป็นชิพซีพียูแล้ว อาจจะมีทรานซิสเตอร์บรรจุอยู่ตั้งแต่เป็นหมื่นหรือเป็นแสนตัวทีเดียว



รูปที่ 1 (ก) ตัวอย่างวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ไดโอด และทรานซิสเตอร์
(ข) ภาพตัดขวางของชิพที่บรรจุวงจรในรูป 1 (ก) ไว้

การสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

หลังจากที่สร้างชั้น Epitaxy เสร็จแล้วก็นำแผ่นเวเฟอร์ไปขัดให้เรียบ จากนั้นก็จะผ่านไปสู่กระบวนการที่เรียกว่า oxidation คือการที่ซิลิคอนรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศ โดยเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปให้ถึง 1000 องศาเซลเซียส จะได้เป็นสารใหม่ขึ้นมาคือซิลิคอนไดออกไซด์ ซึ่งชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์นี้จะใช้สำหรับควบคุมการเจือสารเข้าไปที่ชั้น Epitaxy คือบริเวณใดที่มีซิลิคอนไดออกไซด์ สารเจือปนก็จะผ่านเข้าไปไม่ได้ แต่ถ้าบริเวณใดไม่มีสารเจือปนก็จะไปรวมตัวกับชั้น Epitaxy ทำให้ส่วนนั้นกลายเป็นสารชนิด n หรือชนิด p ก็แล้วแต่ตัวสารที่ใช้เจือ

การสร้างลายวงจร

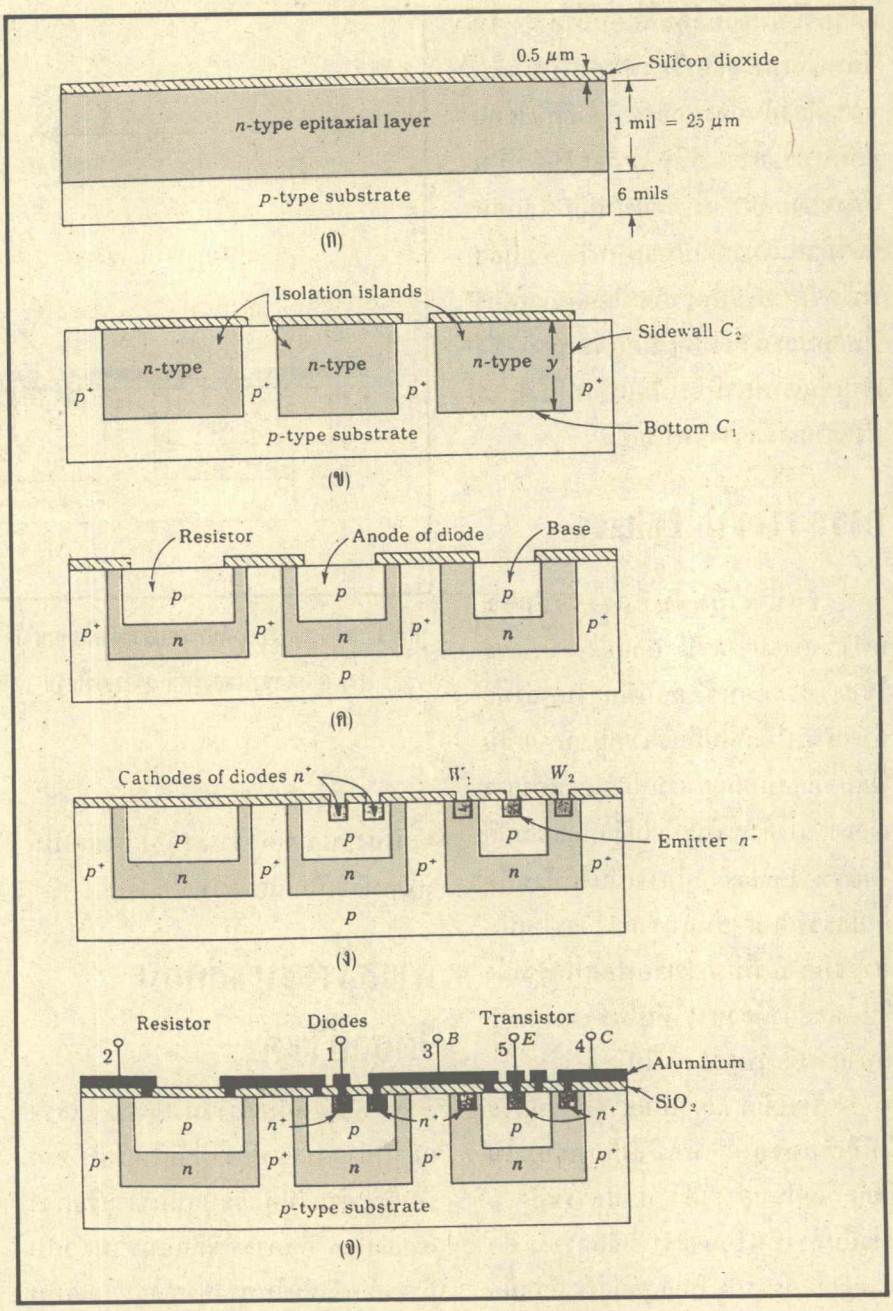
ลายวงจรนี้จะสร้างลงไปบนชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์เพื่อกำหนดบริเวณที่จะเติมสารเจือปน ในขั้นตอนนี้สิ่งแรกที่จะต้องทำก็คือ สร้างลายวงจรต้นแบบขึ้นมาก่อน ซึ่งวิธีการสร้างวงจรต้นแบบนี้จะใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวออกแบบและวาดลายวงจร จากนั้นก็จะนำลายวงจรไปวาดลงบนแผ่นกระจกบาง ๆ ในการวาดลายวงจรนั้นจะใช้วิธีการฉายแสงเป็นหลัก โดยจะนำเอาแผ่นกระจกไปเคลือบสารไวแสงก่อน จากนั้นก็จะนำไปฉายแสงโดยใช้วิธีที่เรียกว่า electron beam ซึ่งมีหลักการคล้าย ๆ กับโทรทัศน์ คือจะใช้ลำอิเล็กตรอนกวาดไปเรื่อย ๆ จนทั่วทั้งแผ่น สารไวแสงที่ฉาบเอาไว้ส่วนใดโดนแสงก็จะเปลี่ยนสภาพ เมื่อนำแผ่นกระจกไปล้างด้วยน้ำยาเคมีที่กำหนด ส่วนที่ถูกแสงก็จะหายไป ส่วนที่ไม่ถูกแสงก็จะอยู่เหมือนเดิม

สำหรับขั้นตอนนี้ใครที่เคยทำแผ่น PCB โดยใช้สารไวแสง หรือใครที่เคยทำบล็อกสกรีนคงจะนึกออก เพราะมีขั้นตอนในการทำงานเหมือนกันทุกประการ ด้วยวิธีการนี้ก็จะได้แผ่นวงจรต้นแบบซึ่งพร้อมจะนำไปใช้ได้ทันที

การสร้างลายวงจรบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ก็ใช้วิธีเดียวกัน คือขั้นแรกก็นำไปเคลือบสารไวแสง จากนั้นก็จะฉายแสงลงไปโดยผ่านแผ่นวงจรต้นแบบ ส่วนใดในแผ่นต้นแบบที่เป็นส่วนโปร่งแสงก็จะทำให้แสงผ่านลงไปถูกสารไวแสงที่ฉาบเอาไว้ เมื่อนำไปล้างในน้ำยาเคมีที่กำหนด สารไวแสงส่วนที่ถูกแสงก็จะหายไป คงเหลือเฉพาะส่วนที่ไม่ถูกแสงเป็นลายวงจรตามที่เราต้องการ

ลายวงจรที่สร้างขึ้นนี้จะเป็นตัวกำหนดขนาดของอุปกรณ์ที่อยู่บนชิพ ซึ่งขนาดของชิพเราจะดูกันที่จำนวนอุปกรณ์ที่สามารถบรรจุลงไปได้ ถ้ามีจำนวนอุปกรณ์มากเส้นลายวงจรก็จะเล็กลงไปด้วย และขนาดของเส้นก็จะถูกจำกัดโดยวิธีที่ใช้ในการฉายแสง ในปัจจุบันนี้สามารถผลิตอุปกรณ์ที่มีขนาดถึง 1.4 ไมครอน (1 ไมครอน มีขนาดเท่ากับ 1×10^{-6} เมตร หรือเศษหนึ่งส่วนล้านเมตร) แต่ก็ยังเล็กไม่พอ มีการค้นคว้าเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อนำมาใช้ เช่น Electron-beam แต่ก็มีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลานานในการฉายแสงแต่ละครั้ง วิธีการนี้จึงใช้เฉพาะในขั้นตอนที่ต้องการความละเอียดมาก ๆ เช่นในการทำวงจรต้นแบบ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการนำเอา x-ray มาใช้ ซึ่งจะมีด้วยกันสองวิธีคือ hard x-ray และ soft x-ray โดย hard x-ray จะเป็นแบบเดียวกับเครื่อง x-ray ที่ใช้ในการแพทย์ คือมีหลอด sycrotron เป็นตัวกำเนิดรังสี แล้วจะปล่อยให้วิ่งผ่านแผ่นวงจรต้นแบบไปกระทบกับแผ่นเวเฟอร์ที่ฉาบสารไวแสงเอาไว้ ส่วน soft x-ray นั้นอยู่ในขั้นตอนของการพัฒนาเพื่อนำมาใช้ ซึ่งคาดว่าจะสามารถทำให้อุปกรณ์มีขนาดเล็กได้ถึง 0.05 ไมครอนเลยทีเดียว

หลังจากที่ผ่านกระบวนการฉาย

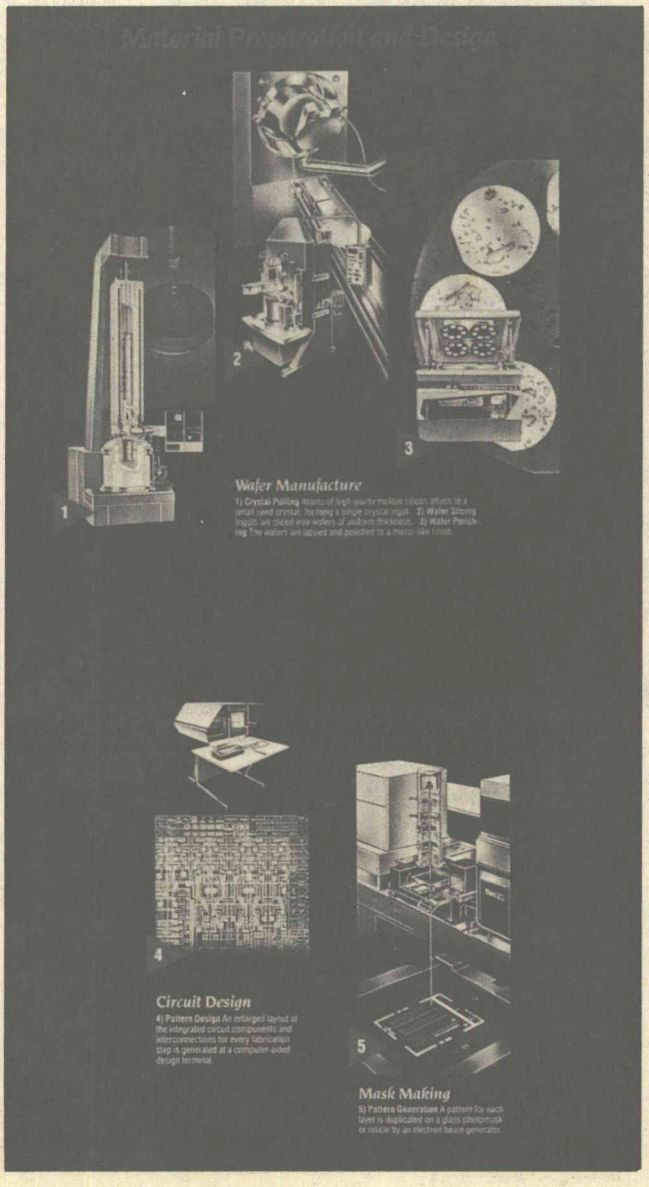


รูปที่ 2 ขั้นตอนการผลิตชิพ
(ก) สร้างแผ่นเวเฟอร์
(ข), (ค), (ง) ทำการเจือสาร
(จ) สร้างขั้นโลหะ

แสงแล้วก็จะได้แผ่นเวเฟอร์ที่มีลายวงจรติดอยู่ ขั้นตอนต่อไปก็จะทำการ "กัด" เอาส่วนที่ไม่มีลายวงจรออก วิธีเดิมที่ใช้ก็คือ ใช้กรดไฮโดรคลอริกกัดเอาซิลิคอนไดออกไซด์ออกไป แต่เนื่องจากมีปัญหาในการควบคุมการทำปฏิกริยาของกรดในกรณีที่ลายวงจรมีขนาดเล็กมาก กรดจะไปทำปฏิกริยาที่ด้านข้างของเส้นซึ่งอาจจะทำให้เส้นขาดได้ จึงทำให้ปัจจุบันไม่นิยมใช้

วิธีที่นิยมใช้ก็คือ plasma etch กับ ion etch ทั้งสองวิธีจะต้องใช้ความดันค่อนข้างต่ำ คือวิธี plasma etch จะทำที่ความดันประมาณ 100 มิลลิเมตรปรอท ส่วนวิธี ion etch จะทำที่ความดันเพียง 1 มิลลิเมตรปรอทเท่านั้น หลักการของทั้งสองจะคล้ายกัน คือใช้อนุภาคที่มีความเร็วสูงไปกระแทกให้อนุภาคของซิลิคอนไดออกไซด์หลุดออกมา แต่วิธี ion etch จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี plasma etch

หลังจากที่เรากำจัดซิลิคอนไดออกไซด์ในส่วนที่ไม่มีลายวงจรแล้ว เราก็จะทำการล้างเอาฟิลม์พลาสติกของสารไวแสงออก แล้วก็จะส่งไปสู่ขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3
ในอุตสาหกรรมการผลิตไอซีเริ่มต้นด้วยการทำแผ่นเวเฟอร์

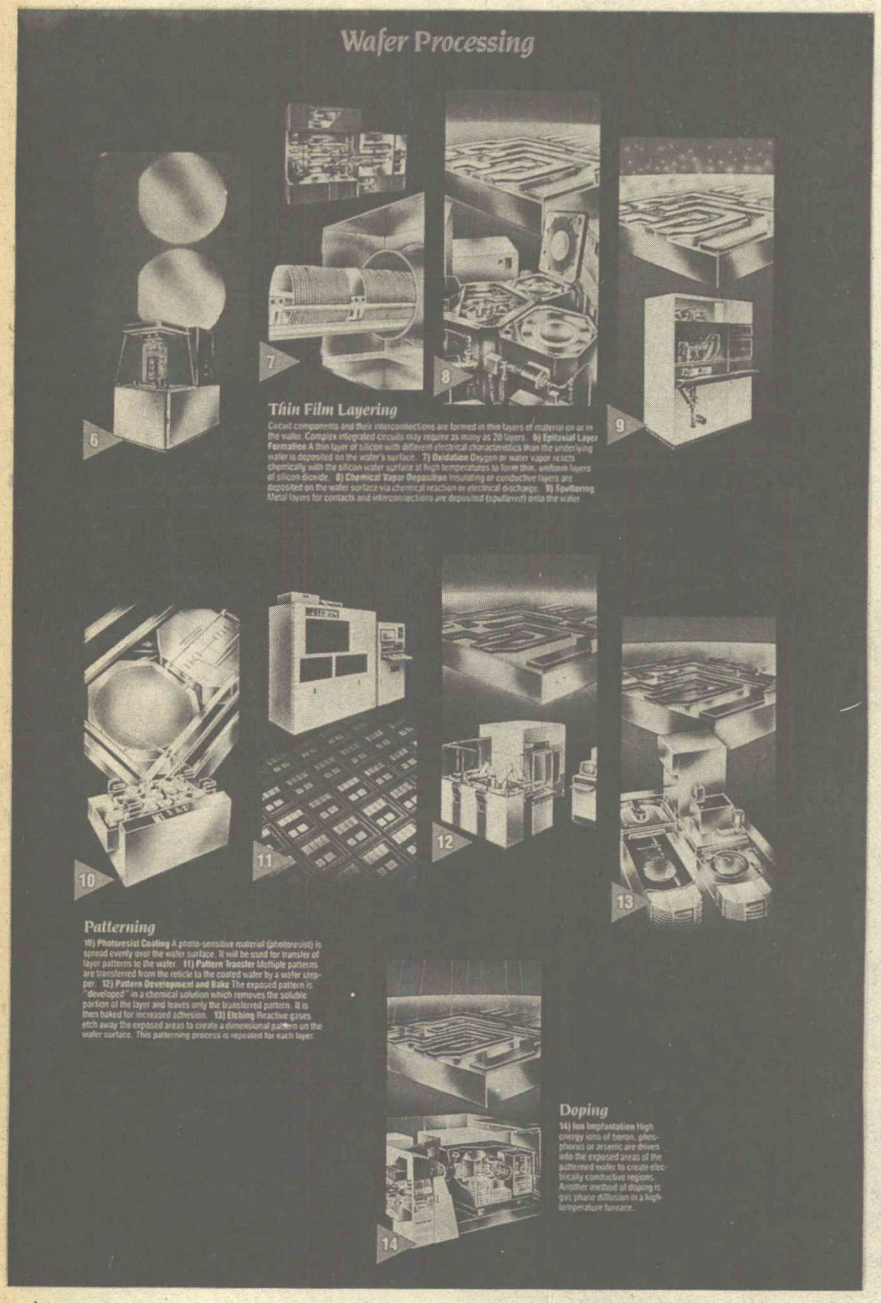
การเจือสาร

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของซิลิคอนจะเปลี่ยนไปเมื่อเราทำการเจือสารบางอย่างเข้าไป เป็นหลักการที่เราใช้สำหรับผลิตชิพ เมื่อเราทำการเจือสาร เช่น โบรอนหรือฟอสฟอรัสลงไปในบริเวณที่กำหนด ส่วนนั้นก็จะกลายเป็นทรานซิสเตอร์ ในชิพ 1 แผ่นนั้นจะมีทรานซิสเตอร์นับหมื่น ๆ ตัวทีเดียว

ในการเจือสารจะมีวิธีการทำอยู่สองแบบคือ diffusion และ implantation วิธี diffusion จะนำเอาแผ่นเวเฟอร์ไปวางไว้ในก๊าซของสารประกอบที่จะใช้เจือแล้วทำการเพิ่มอุณหภูมิและความดัน อนุภาคของสารที่เจือก็จะเข้าไปรวมตัวกับซิลิคอนตามลายวงจรที่กำหนด แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ อย่างแรก ก๊าซที่ใช้สำหรับวิธี diffusion เป็นพิษอย่างร้ายแรง อย่างที่สองคือความเที่ยงตรงต่ำ ควบคุมยาก คืออนุภาคจะเข้าไปรวมตัวกับส่วนที่อยู่ใต้ส่วนที่ถูกบัง ซึ่งอาจทำให้วงจรผิดพลาดได้

ส่วนวิธี implantation จะใช้ปล่อยประจุไปยังแผ่นเวเฟอร์ด้วยพลังงานสูง โดยใช้แรงดันไฟฟ้า แรงดันที่ใช้ปกติจะมีค่าประมาณ 10,000 ถึง 160,000 โวลต์ และมีบริษัทผลิต DRAM บางแห่งในญี่ปุ่นใช้แรงดันสูงถึง 1,000,000 โวลต์

สิ่งที่จะต้องระวังในขั้นตอนนี้คือความหนาแน่นของอนุภาคที่ปล่อยลงไปจะต้องคงที่ เนื่องจากอนุภาคที่ปล่อยลง



รูปที่ 4 ในระหว่างขบวนการผลิตเวเฟอร์นั้น ในส่วนเลเยอร์ของวงจรจะถูกบรรจุลงบนแผ่นเวเฟอร์

ไปจะใช้ในการสร้างทรานซิสเตอร์พร้อมกันหลายพันตัว ดังนั้นถ้าความหนาแน่นของอนุภาคไม่คงที่ อาจทำให้คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้นในแต่ละส่วนไม่เหมือนกัน ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาในการทำงานได้

การสร้างชั้นโลหะ

หลังจากผ่านกระบวนการเจือสารแล้ว ก็จะได้แผ่นเวเฟอร์ที่บรรจุทรานซิสเตอร์อยู่เต็มไปหมด ก็จะมาถึงขั้นตอนที่จะเชื่อมทรานซิสเตอร์เหล่านี้เข้าด้วยกัน โดยเราจะใช้ชั้นฟิล์มโลหะเป็นตัวเชื่อม ขั้นตอนนี้ก็จะเริ่มด้วยการใช้สารไวแสงเพื่อกำหนดลายวงจร จากนั้นก็จะใช้ประจุไฟฟ้ายิงเข้าไปที่ก้อนอลูมิเนียม ซึ่งจะทำให้อนุภาคของอลูมิเนียมหลุดออกมาปกคลุมที่แผ่นเวเฟอร์ตามลายวงจรที่กำหนด หลังจากที่ผ่านขั้นตอนนี้แล้ว แผ่นเวเฟอร์จะต้องไม่ผ่านกระบวนการที่มีอุณหภูมิสูงเกิน 500 องศาเซลเซียส มิฉะนั้นอลูมิเนียมจะทำปฏิกริยากับซิลิคอน และจะทำให้แผ่นเวเฟอร์เสียหาย

เมื่อสร้างชั้นของโลหะเสร็จแล้วก็จะนำเอาไปทดสอบการทำงานของชิพ ถ้าไม่มีข้อผิดพลาดก็จะทำการเชื่อมจุดต่อออกไปภายนอก โดยจะใช้ลวดที่ทำจากทองคำเส้นเล็ก ๆ เป็นตัวเชื่อมระหว่างชิพกับขาที่ติดกับตัวถัง เมื่อทำการเชื่อมขาเสร็จแล้วก็จะนำไปทำการปิดผนึกแล้วทดสอบอีกครั้งหนึ่ง ถ้าผ่านก็จะนำไปพิมพ์เบอร์แล้วส่งไปจำหน่ายต่อไป

ปัญหาอีกอันหนึ่งของผู้ผลิตชิพก็คือ ไม่มีเนื้อที่ในการต่อขาออกมาใช้ ซีพียูในรุ่นแรก ๆ จะมีขาอยู่ 40 ขาในตัวถังแบบ DIP แม้ว่าตัวจะค่อนข้างใหญ่ไปบ้าง แต่ก็ยังพอรับได้ ต่อมาโมโตโรล่าผลิต 68000 ออกมามีขา 64 ขา ตอนแรกที่เห็น ผมนึกว่ามันเป็นไม้บรรทัดเสียอีก เมื่อขาเริ่มมากขึ้น ตัวถังแบบ DIP เริ่มไม่พอที่จะบรรจุขาจำนวนมากเอาไว้ได้ เพราะถ้ายังคงใช้ตัวถังแบบ DIP ต่อไป ชิพคงจะตัวใหญ่เท่าหนังสือเป็นแน่ จึงมีการพัฒนามาเป็นตัวถังแบบ FLAT แรก ๆ ก็มีขาอยู่รอบ ๆ ก่อน เช่นใน 80186 และ 80286 ต่อมาก็ย้ายมาอยู่ข้างใต้ดังเช่น 80386 และ 80486 ในอนาคตชิพซีพียูอาจจะเป็นทรงกลมมีขาอยู่รอบ ๆ ก็ได้นะครับ

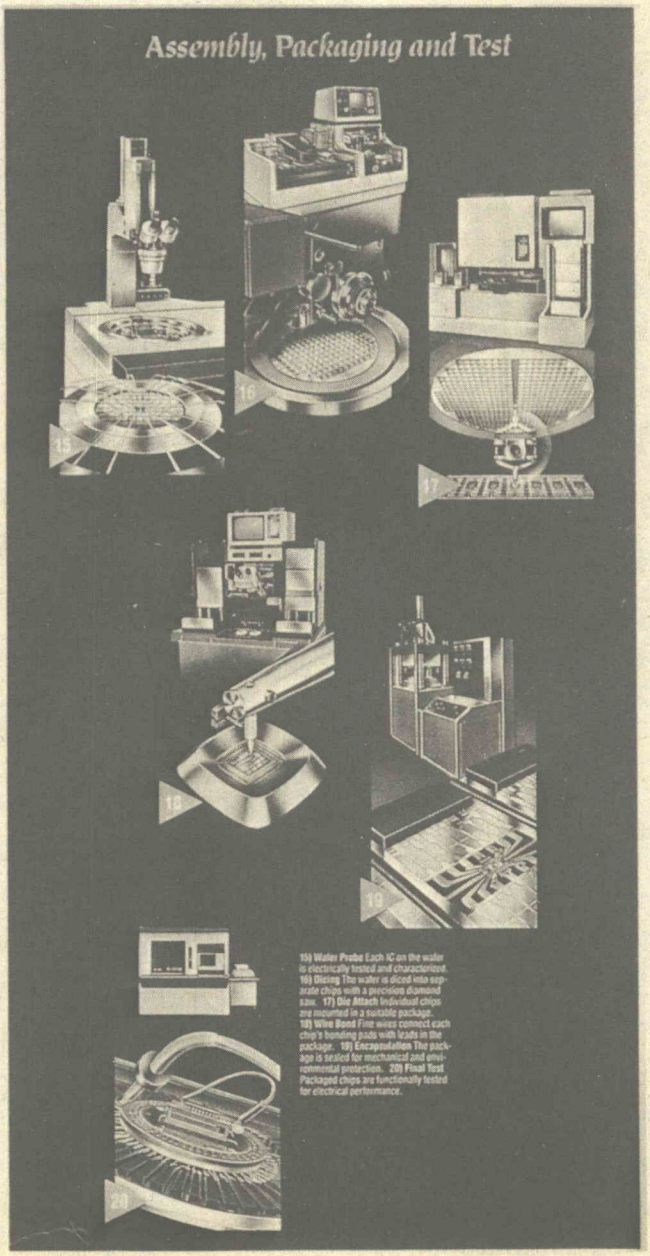
เวลาที่ใช้ในการสร้าง

การสร้างชิพไม่ใช่สิ่งที่จะสามารถทำได้ภายในวันเดียว ตามทฤษฎีแล้วจะใช้เวลาในการสร้างชิพประมาณ 8 ถึง 12 วัน แต่โรงงานที่ทันสมัยที่สุดก็ยังต้องใช้เวลามากกว่านั้นถึงสองเท่า และบางโรงงานอาจจะใช้ถึง 4 เท่า

ขั้นตอนบางขั้นตอนจะใช้เวลาเพียงไม่กี่นาที เช่น ขั้นตอนการฉายแสงจะใช้เวลาในการฉายเพียงหนึ่งในสี่ของวินาทีต่อการฉายแสงหนึ่งครั้ง และจะใช้เวลาประมาณหนึ่งวินาทีในการเลื่อนไปยังชิพถัดไป รวมแล้วแผ่นเวเฟอร์หนึ่งแผ่นจะใช้เวลาในการฉายแสงประมาณ 1 นาที

แต่ขั้นตอนที่ต้องใช้ความร้อนในการทำปฏิกริยาอาจจะใช้เวลาถึง 2 ชั่วโมง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะต้องค่อย ๆ เพิ่มทีละน้อย เช่น ในการเพิ่มอุณหภูมิจาก 800 องศาเซลเซียส ไปยัง 1,000 องศาเซลเซียสจะใช้เวลาประมาณ 20 นาที เพราะถ้าเพิ่มอุณหภูมิแบบทันทีทันใดอาจทำให้ชิพเสียหายได้

ในการผลิตชิพนั้นจะต้องพิถีพิถันในทุกขั้นตอนการผลิต เพราะถ้ามีการผิดพลาดแม้เพียงจุดเดียว ชิพนั้นจะใช้ไม่ได้ การควบคุมคุณภาพการผลิตจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมาก มิฉะนั้นอาจจะเกิดกรณี เช่น ผลิตชิพ 1,000 ตัว ใช้ได้เพียง 50 หรือ 100 ตัว เป็นต้น



รูปที่ 5
ในขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตไอซีจะถูกประกอบลงอุปกรณ์ ทำตัวถังและทดสอบ

ส่งท้าย

ปัจจุบันนี้ชิพได้เข้ามาแทรกอยู่ในชีวิตประจำวันของเราเต็มไปหมด มิได้จำกัดอยู่เพียงในเครื่องคอมพิวเตอร์เท่านั้น เราคงเคยได้ยินโฆษณา เช่น เครื่องซักผ้าระบบคอมพิวเตอร์ เครื่องปรับอากาศระบบคอมพิวเตอร์ เป็นต้น แทบไม่น่าเชื่อเลยนะครับว่า เจ้าชิพอันทรงประสิทธิภาพนั้นจะถูกสร้างขึ้นมาจากทรายที่มีอยู่เกลื่อนกลาด แต่ว่ากว่าจะเสร็จเป็นชิพได้นั้นก็เรียกได้ว่าเลือดตาแทบกระเด็นเลยทีเดียว แต่ต่อไปก็ไม่แน่นะครับ อาจจะมีใครสักคนที่ผลิตเครื่องผลิตชิพสำเร็จรูปขึ้นมาก็ได้ เพียงคุณเททรายลงไปหนึ่งช้อน กดปุ่มเลือกฟังก์ชันการทำงาน แล้วรอสักครู่คุณก็จะได้ชิพตามที่คุณต้องการ ไอ้เจ้าเครื่องที่ว่านี้อาจจะมีในอนาคตอันใกล้นี้ก็ได้ เราคงจะต้องรอดูกันต่อไปนะครับ